

УДК 674.023

И.Т. Глебов

(I.T. Glebov)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с автором: GIT5@yandex.ru

**РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ
ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

**CALCULATION OF TANGENT FORCE OF CUTTING WHEN
MILLING DREVESNOSTRUZHECHNYKH OF PLATES**

Предложена новая методика расчета, в которой процесс фрезерования кромок ДСтП плоского прессования представлен как процесс перерезания древесных волокон стружек под углом $\varphi_s = 45^\circ$ и как процесс перерезания клеевых оболочек. Показано, что сила перерезания клеевых оболочек составляет примерно 80 % от силы резания стружек плиты. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать следующий вывод. При расчете режимов резания кромок плит фрезами диаметром 80 мм и более можно использовать предлагаемый способ, который для данных условий сопоставим с методом расчета Ю.А. Цуканова. Для решения вопроса о расчете режимов фрезерования фрезами диаметром 50 мм и менее необходимы дополнительные исследования.

The proposed new method of calculating, in which the milling process Cro-IOC chip-board flat pressing is presented as a process of cutting wood fiber chips cutting angle $\varphi = 45^\circ$ and the process of cutting the adhesive membranes. It is shown that the power of cutting the adhesive skins is approximately 80 % on the strength of the cutting chip plates. A comparative analysis of the results leads to the following conclusion. In calculating the cut edges of plates modes cutters diameter 80 mm or more can use the proposed method, which, for these conditions is comparable to the method of calculating Y.A. Tsukanov. To solve the problem of calculating the modes of milling cutters diameter of 50 mm and less than more research is needed.

Плиты ДСтП выпускаются плоского и экструзионного прессования. Различают цилиндрическое фрезерование пласти плиты, кромки продольные и кромки поперечные. При расчете режимов фрезерования используют методику, разработанную Ю.А. Цукановым, но она дает большие погрешности.

Древесностружечные плиты (ДСтП) – листовой материал, изготовленный путем горячего прессования древесных частиц, преимущественно стружек, смешанных со связующим минерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок. ДСтП получают методом плоского или экструзионного прессования [1].

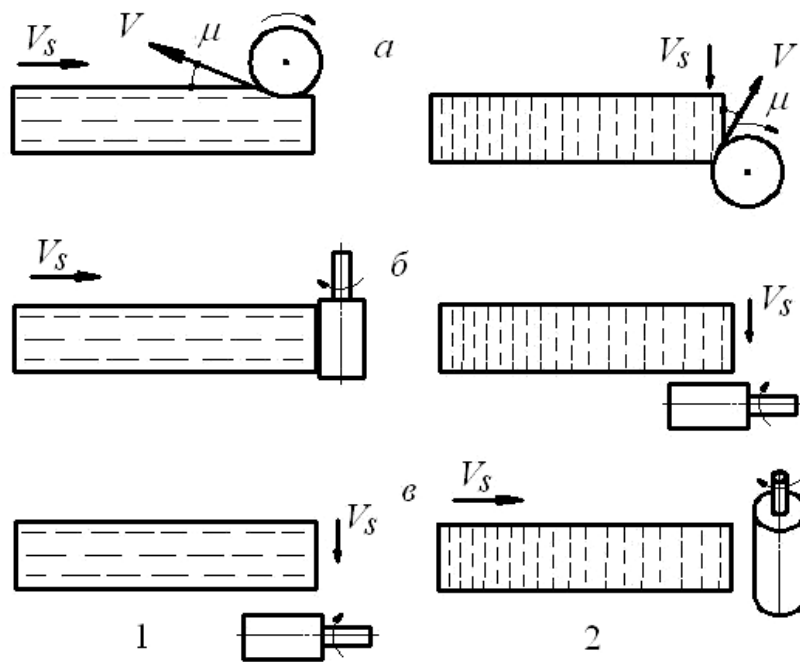
Древесностружечная плита плоского прессования – это плита, у которой древесные частицы расположены преимущественно параллельно ее пласти. При изготовлении плиты усилие прессования прилагается перпендикулярно пласти плиты, в результате чего стружки ориентируются плоской стороной параллельно пласти плиты.

Древесностружечная плита экструзионного прессования – плита, у которой плоскости древесных частиц расположены преимущественно перпендикулярно ее пласти. При изготовлении таких плит усилие прессования направлено параллельно пласти плиты.

Виды фрезерования ДСтП

При цилиндрическом фрезеровании древесностружечных плит можно выделить фрезерование по слою, фрезерование кромки продольное и кромки поперечное. На рисунке 1 показаны схемы фрезерования ДСтП плоского прессования (колонка 1) и экструзионного прессования (колонка 2). На схемах показана плита, надвигающаяся со скоростью подачи на вращающуюся фрезу. Фреза вращается с окружной скоростью V .

При фрезеровании по слою обрабатывается плась (см. рисунок, 1а) или кромка плиты (см. рисунок, 2а), которые расположены перпендикулярно направлению прессования с подачей параллельно слою склеенных стружек в плите. Поскольку склеенные стружки сориентированы относительно направления прессования только широкими плоскостями, то свойства плит по обрабатываемым поверхностям одинаковы в любом направлении. Если процесс резания рассматривать с учетом направления волокон стружек, то при фрезеровании по слою будет наблюдаться продольно-торцово-поперечное резание. Вектор скорости главного движения V расположен по отношению к обрабатываемой поверхности под углом встречи ϕ_v , который учитывает долю продольно-торцового резания. Перерезание волокон древесины в отдельных стружках изменяется от продольно-торцового до поперечного. Угол наклона ϕ_n , учитывающий долю торцово-поперечного резания, изменяется от 90° при продольно-торцовом резании до 0° при поперечном резании и может быть принят равным $\phi_n = 45^\circ$.



Виды фрезерования древесностружечных плит
плоского (1) и экструзионного (2) прессования:
а – по слою; б – по кромке продольное; в – по кромке поперечное

При продольном фрезеровании обрабатываются кромки, расположенные параллельно направлению прессования плиты с подачей параллельно слою стружек (см. рисунок, 1б или 2б). В этом случае наблюдается продольно-торцовое резание, при

котором угол встречи для отдельных склеенных стружек изменяется от $\varphi_e = 0^\circ$ до $\varphi_e = 90^\circ$. В среднем можно принять $\varphi_e = 45^\circ$.

При поперечном фрезеровании обрабатываются кромки, расположенные параллельно направлению прессования плиты с подачей перпендикулярно слою стружек (см. рисунок, 1в или 2в). В этом случае наблюдается торцово-продольно-поперечное резание стружек.

Таким образом, сопротивление при фрезеровании древесностружечных плит можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию клеевых слоев и сопротивлений перерезанию волокон древесных стружек в продольно-торцово-поперечном или в продольно-торцовом, или в торцово-продольно-поперечном направлениях.

Расчет сил резания

В настоящее время для расчета сил резания при фрезеровании древесностружечных плит наиболее часто используется метод Ю.А. Цуканова [2], разработанный в 60-х годах прошлого столетия. Для определения касательной силы резания находят табличное значение удельной работы резания (находят по величине подачи на зуб) и пять поправочных коэффициентов, учитывающих группу плит, их плотность, содержание связующих, угол резания и коэффициент затупления. Произведение табличного значения удельной работы резания и указанных коэффициентов дает расчетное для заданного режима резания значение удельной работы резания. Затем по объемной формуле находят мощность на фрезерование и значение касательной силы резания.

Расчетный метод Ю.А. Цуканова в современных условиях не дает точный результат, так как при определении табличной удельной работы резания не учитывается влияние породы древесины, из которой сделаны стружки, не учитывается скорость главного движения при фрезеровании, не учитывается диаметр фрезы и др.

С переходом технологии деревообработки на принципиально новый технологический уровень, связанный с использованием деревообрабатывающих станков с ЧПУ и хвостового фрезерного инструмента, точность к расчету режимов резания повышается.

Ниже приводится новый метод расчета режимов резания ДСтП, основанный на использовании метода А.Л. Бершадского, применяемого для расчета режимов резания массивной древесины. При этом приняты следующие допущения:

- стружки в слое плиты плоского прессования расположены хаотически и средний угол перерезания волокон равен $\varphi_e = 45^\circ$ при продольно-торцовом резании;
- каждая стружка плиты находится в клеевой оболочке, усилие перерезания которой составляет 80 % от усилия перерезания волокон древесины заданной породы;
- если $D < 60$ мм, то учетная скорость резания $V_1 = V$; если $V < 50$ м/с, то $V_1 = 90 - V$; иначе $V_1 = V$, где V – скорость главного движения при резании.

Проверка предлагаемого метода проводилась путем сравнения результатов расчета по методу Ю.А. Цуканова. При этом для расчета были написаны две компьютерные программы: по методу Ю.А. Цуканова и предлагаемому методу. Затем было выделено трехмерное пространство исследуемых параметров и приняты значения параметров: по оси скорости подачи $V_s = 8; 12; 16; 20$ м/мин; по оси диаметра фрезы $D = 21; 50; 80; 100$ мм; по оси частоты вращения фрезы $n = 6000; 8000; 10000; 14000$ мин⁻¹. Из этого пространства произвольно было выбрано 12 условий фрезерования. Условия и результаты расчетов сведены в таблицу.

Условия фрезерования ДСтП и результаты расчетов
окружной касательной силы резания F_x , Н

D , мм	n , мин ⁻¹	V_s , м/мин	По Ю.А. Цуканову	По предлагае- мому способу	Ошибка, %
100	6000	8	36,3	37,9	4,2
80	8000	12	46,0	46,4	0,86
50	10000	16	74,2	61,3	-21,0
21	12000	20	177,5	105	-68,5
21	14000	24	178,0	109,4	-62,7
50	12000	20	74,5	62,7	-18,8
80	10000	16	46,4	46,9	1,1
100	8000	12	36,8	38,6	4,7
21	6000	8	172,9	95,9	-80,3
50	8000	12	73,6	59,3	-24,1
80	6000	16	49,2	44,4	-10,8
100	12000	20	37,3	42	11,2

Порядок расчета по предлагаемому методу показан на примере решения задачи.

Дано:

на фрезерном станке фрезеруются по кромке древесностружечные плиты II группы, стружки изготовлены из древесины березы, содержание связующего равно 10 %, плотность плит – 0,6 г/см³. Диаметр фрезы $D = 100$ мм, частота вращения $n = 6000$ мин⁻¹, скорость подачи $V_s = 8$ м/мин, угол резания $\delta = 85^\circ$, число зубьев $z = 4$, глубина фрезерования $t = 2$. Ширина фрезерования $b = 20$ мм. Радиус закругления режущей кромки зуба $\rho_0 = 10$ мкм. Приняты коэффициент породы $a_n = 1,25$ (древесина березы), коэффициент группы плит $a_{ep} = 0,89$; коэффициент, учитывающий перерезание оболочек связующего, $a_{cg} = 1,8$.

Определить окружную касательную силу резания.

Решение:

1. Скорость главного движения, м/с,

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 6000}{60000} = 31,4.$$

2. Находим подачу на зуб, мм:

$$S_z = \frac{1000 V_s}{z n} = \frac{1000 \cdot 8}{4 \cdot 6000} = 0,33.$$

3. Толщина срезаемого слоя, мм:

$$a = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 0,33 \sqrt{\frac{2}{100}} = 0,047.$$

4. Длина дуги контакта, мм:

$$l_k = \sqrt{t D} = \sqrt{2 \cdot 100} = 14,14.$$

5. Фиктивная сила резания для продольно-торцового резания с углом перерезания волокон $\phi_6 = 45^\circ$, Н/мм:

$$\rho_{//\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25}_{\phi_6} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 45^\circ = 3,66.$$

6. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань лезвия [3]:

$$k_{//\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22)\sin^{1,25}\varphi_6 = \\ = 0,196 \cdot 85 + 0,069(90 - 31,4) - 5,4 + (0,354 \cdot 85 + 0,127(90 - 31,4) - \\ - 14,22)\sin^{1,25} 45^\circ = 30,4 \text{ МПа}$$

7. Коэффициент затупления для острого лезвия $\alpha_p = 1$.

8. Значение коэффициента λ , применяемого для расчета силы резания в зоне микрослоев (ρ в мм):

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \quad \rho = \rho_o + \Delta_p ;.$$

$$\lambda = (0,010 + 0)^2 + 0,2(0,010 + 0) + 0,01 = 0,0121;$$

9. Средняя сила резания на дуге контакта (Н) находится из условия:

если $a > 0,1$ мм, то $F_{x \text{ зyb}} = a_n a_{cp} a_{cv} (\alpha_p \rho + ka)b$, иначе

$$F_{x \text{ зyb}} = a_n a_{cp} a_{cv} (\alpha_p \rho + 0,1k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda}\right) b.$$

$$F_{x \text{ зyb}} = a_n a_{cp} a_{cv} (\alpha_p \rho + 0,1k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda}\right) b =$$

$$= 1,25 \cdot 0,89 \cdot 1,8 \cdot (1 \cdot 3,66 + 0,1 \cdot 30,4) \cdot \left(1 - \frac{1}{0,0121} 0,047^2 + \frac{0,2}{0,0121} 0,047 - \frac{0,01}{0,0121}\right) \cdot 20 = \\ = 210,4.$$

10. Окружная сила резания, Н,

$$F_x = F_{x \text{ зyb}} \frac{l_{\kappa z}}{\pi D} = 210,4 \frac{14,14 \cdot 4}{3,14 \cdot 100} = 37,89.$$

Анализ данных таблицы показывает, что при использовании фрез небольшого диаметра ($D = 50$ мм и менее) результаты расчета по предлагаемому способу показывают заниженный результат, отклонение достигает до 68,5 %. В остальных случаях погрешность находится в пределах нормы.

Для сравнения результатов расчетов, полученных по предлагаемому способу, можно использовать уравнения регрессии, полученные П.В. Рудак [4] при фрезеровании кромок ДСтП фрезами диаметром 21 мм при частоте их вращения 4000–18000 мин⁻¹. Решая уравнение регрессии для принятых нами условий, получили следующие значения окружной силы резания: 7,9; 7,86; 12,29 Н. По сравнению с этими данными в предлагаемом методе расчета получены во много раз превышающие данные.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При фрезеровании кромок ДСтП плоского прессования процесс резания можно считать продольно-торцовым с углом встречи $\varphi_6 = 45^\circ$.

2. При расчете режимов резания кромок ДСтП фрезами диаметром $D = 80$ мм и более можно использовать предлагаемый способ, который для данных условий сопоставим с методом расчета Ю.А. Цуканова.

3. Для решения вопроса о расчете режимов фрезерования фрезами диаметром 50 мм и менее необходимы дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Глебов, И.Т. Технология деревообработки. Термины и определения: учеб. пособие / И.Т. Глебов, В.Е. Рысев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 220 с.

2. Цуканов, Ю.А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю.А. Цуканов, В.В. Амалицкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 96 с.

3. Глебов, И.Т. Резание древесины: учеб. пособие / И.Т. Глебов. – СПб: Лань, 2010. – 256 с.

4. Рудак, П.В. Энерго- и ресурсосберегающие режимы обработки облицованных древесностружечных плит концевыми фрезами: автореф. дис. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук / П.В. Рудак. – Минск: БГТУ, 2010. – 22 с.

УДК 674.05:621.9

И.Т. Глебов

(I.T. Glebov)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: GIT5@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРНОЙ ФРЕЗЫ

DESIGN TEAM MILLS

На основании анализа сделан вывод: сборную фрезу с клиновым креплением ножей следует проектировать так, чтобы ее параметры в процессе эксплуатации не менялись. Допускается уменьшение ширины ножей в результате их переточки.

Based on the analysis concluded: team cutter with wedge fastening knives should be designed so that its parameters during operation have not changed. The width of the blades may be reduced as a result of regrinding.

Для фрезерования древесины часто используют сборные фрезы и ножевые валы различной конструкции. Часто используются насадные сборные фрезы, включающие корпус с посадочным отверстием и пазами, в которые вставлены ножи, клинья и винты. Для проектирования фрезы необходимо знать соотношение масс ножа и клина узла крепления ножа. В нормативной литературе указано только, что масса клина должна быть больше массы ножа.

В расчетной схеме указаны центры масс ножа и клина, к которым приложены центробежные силы. Центры масс привязаны к центру вращения фрезы полярными радиусами и полярными углами в системе координат ХОУ. По схеме составлено уравнение равновесия системы сил, получено уравнение для определения массы клина. Получены уравнения для координат центров масс ножа и клина, уравнения для нахождения полярных углов и полярных радиусов. Предложена методика расчета массы клина, показанная на примере.

Для механической обработки древесины на станках используют разнообразные конструкции сборных фрез и ножевых валов, в которых применяют разные варианты клинового крепления ножей [1, 2]. Часто используется сборная фреза, состоящая из корпуса 1 (см. рисунок) с посадочным отверстием и пазами, в которые вставлены ножи 4, клинья 3 с винтами 2. Винты 2 обеспечивают монтажное крепление ножей.